

CÓDIGO 1.3.05**PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE ECO-SISTEMAS INDUSTRIALES COMO PARTE DE LA SOLUCIÓN EN LA REGENERACIÓN URBANA****Ruiz, M^a Carmen*, Romero, Elena**

Universidad de Cantabria, ETS Ingenieros Industriales y Telecomunicación,
Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos,
Grupo de Investigación Ingeniería y Gestión de Proyectos (INGEPRO).
ruizpm@unican.es
elena.romero@unican.es

PALABRAS CLAVE: Ecología Industrial, Eco-Sistema Industrial, Metabolismo Urbano Industrial**RESUMEN**

En el horizonte del año 2050, las ciudades han de compatibilizar la regeneración urbana de lo existente con un nuevo modelo de ciudad que pueda acoger el crecimiento previsto en torno a ellas con una huella ambiental admisible. Desde una visión sistémica, la interacción del sub-sistema urbano y del sub-sistema industrial será cada vez más fuerte. La co-existencia de ambos sistemas es necesaria para el bienestar socio-económico y una planificación y diseño integradores ofrece múltiples retos y oportunidades de mejora en la eficiencia de los recursos y de la energía. Para ello es necesario estudiar los mecanismos del metabolismo industrial y del metabolismo urbano y detectar las intersecciones que suceden entre ellos. En este trabajo se resume la experiencia acumulada sobre el diseño de eco-sistemas industriales desde un enfoque de ciclo de vida C2C (Cradle to Cradle). Se exponen las fases del ciclo de vida consideradas en el diseño y rediseño de áreas eco-industriales y se analizan las etapas de localización y funcionamiento. Como parte de la planificación territorial y urbana, la ampliación y localización de nuevos espacios productivos se debe realizar bajo criterios de sostenibilidad una vez que hayan sido ocupados los espacios existentes -vacíos o semiocupados- y regenerados los espacios degradados o abandonados. Asimismo, para los sistemas industriales en funcionamiento -complejos, parques o zonas industriales- se han de identificar las estrategias de simbiosis industrial que pueden revitalizar y rentabilizar ambiental, social y económicamente su actividad. Las oportunidades de mayor interés residen en la gestión integrada de residuos como recursos e infraestructuras compartidas para el aprovechamiento circular de agua y energía. Con aplicación a una comarca industrializada de Cantabria (Norte de España), se exponen los resultados obtenidos para localizar nuevos espacios productivos y las oportunidades de mejora ambiental y económica que tienen las áreas industriales operativas en dicha comarca.

1. INTRODUCCIÓN

Según la previsión realizada en el informe Vision 2050 [1], en el horizonte del año 2050 la población mundial habrá alcanzado los 9500 millones de personas y se habrá producido una concentración en el entorno urbano. El derecho universal a un bienestar social y económico sin comprometer los recursos disponibles, abre 9 áreas trabajo en torno a: valores de las personas, desarrollo humano, economía, agricultura, bosques, energía y electricidad, edificios, movilidad y materiales.

Los subsistemas urbanos y productivos -industriales- ofrecen oportunidades de planificación y diseño de nuevas ciudades y espacios productivos, así como rediseño y rehabilitación de lo construido con un enfoque de ciclo de vida C2C. El estudio y comprensión de manera independiente de los metabolismos

urbano e industrial es suficientemente complejo. Sin embargo, se trata de sistemas anidados que intersectan y que mantienen fuertes relaciones de dependencia [2, 3]. Aunque clásicamente estas relaciones han sido concebidas y establecidas a través del flujo mano de obra, ambos subsistemas han de conjugar intereses en torno a otros flujos –por ejemplo materia, energía, espacio...– que pueden, y posiblemente deben, ser optimizados.

En esta ponencia se presenta un modelo de eco-sistema industrial sobre el que el grupo de investigación INGEPRO viene trabajando durante una década y que ofrece las bases para inspirar una planificación y regeneración urbana más eficientes. Los límites geográficos vienen dados por la localización espacial de las empresas o parques industriales de interés. Bajo un enfoque de ciclo de vida, el subsistema productivo, acotado a una zona, área o complejo industrial, consta de las siguientes fases (Figura 1): selección del emplazamiento, planificación y diseño del emplazamiento y de las infraestructuras físicas, diseño de la edificación e instalaciones industriales, construcción, diseño de la operación y de los sistemas de gestión y desmontaje y desmantelamiento. Si bien el tema de investigación estudia los aspectos ambientales que son clave en cada fase, aborda en profundidad las fases que tienen mayor contribución al impacto ambiental: localización de las áreas y funcionamiento y gestión a lo largo de su vida operativa. La primera por ser una etapa decisiva y estratégica en el éxito socio-económico-ambiental del área.



Figura 1: Fases del ciclo de vida de un área industrial.

La segunda por ser la fase de operación y gestión la que ofrece el marco principal para aplicar las estrategias de la ecología industrial. Esta disciplina analiza esencialmente los flujos de materia, energía, capital, mano de obra e información dentro de los sistemas de producción y consumo, y estudia sus impactos sobre el medio ambiente. Su finalidad es conseguir una integración sostenible de las actividades humanas en el entorno natural, buscando el cierre de ciclos de materia y energía, y creando redes de intercambio que consigan minimizar la cantidad de residuos generados y la conversión de subproductos en recursos y productos reutilizables. Con ello los sistemas productivos imitan el funcionamiento de los ecosistemas naturales y se pueden estudiar como ecosistemas industriales. Además, la fase de operación es la más larga del ciclo de vida y la gestión es un elemento clave para garantizar la viabilidad técnico-económica y ambiental del área. Es por lo tanto fundamental promover y desarrollar nuevos modelos de planificación, diseño y gestión de los sistemas industriales, así como transformar los ya existentes en eco-industriales.

Los límites geográficos vienen dados por la localización espacial de las empresas, o parques industriales de interés, que además pueden abarcar núcleos urbanos. En la escala regional, el sistema puede ser un país, una región o una comarca. En cualquier caso, los beneficios son de gran repercusión general, pues se

crean nodos abiertos a otras redes eco-industriales. La ecología industrial se alza como motor de desarrollo económico mediante la formación de eco-sistemas industriales y detección de oportunidades de negocio basadas en la simbiosis industrial. Por un lado contribuye a la regeneración urbana y por otro sienta las bases para planificar y concebir la ciudad y núcleos urbanos de acuerdo a las mismas estrategias [4].

2. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE ÁREAS ECO-INDUSTRIALES

Para la selección del emplazamiento de áreas eco-industriales se desarrolla un modelo de análisis y decisión que incluye además de los factores clásicos de localización, los factores emergentes de valor añadido en un contexto económico globalizado [5]. Dada la diversidad de tipos de espacios productivos, el modelo se ha orientado a parques industriales mixtos, caracterizados por estar normalmente ocupados por empresas de tamaño pequeño y medio que pertenecen al sector secundario y terciario y cuya importancia es de nivel local y regional. En este tipo de parques apenas existe dependencia entre las empresas, hay multiplicidad de actividades y la población de las empresas cambia, normalmente, de forma rápida. El modelo plantea dos niveles de evaluación según la escala de su aplicación. El primer nivel es aplicable a nivel de región, comarca o conjunto de comarcas, para evaluar y seleccionar las áreas de interés en el desarrollo industrial. En el segundo nivel se evalúan a nivel local aspectos específicos del suelo industrial obtenido en el primer nivel. En la Figura 2 se recoge la estructura resultante del modelo y la secuencia de evaluación. El primer nivel del modelo es aplicable a un área o comarca geográfica delimitada administrativamente por uno o varios municipios. Esta fase incluye tres grupos de factores: socio-económicos, físico-ambientales e infraestructuras y urbanismo. Sobre las áreas resultantes del análisis se aplican restricciones legales para proteger las zonas que poseen un interés paisajístico, ambiental o cultural, y restricciones técnicas para evitar la construcción en zonas de alta capacidad agrológica o que impliquen dificultades constructivas, como por ejemplo, zonas con una excesiva pendiente. Posteriormente se evalúan los riesgos potenciales (inundación, deslizamientos y subsidencias...). La selección final de las parcelas se realiza a nivel local mediante el análisis detallado de las áreas resultantes de la fase anterior. Esta segunda fase engloba el análisis de factores de disponibilidad de recursos e infraestructuras y costes específicos de cada parcela. Por otro lado, se determina la factibilidad económica del suelo y de las obras necesarias para desarrollar un nuevo área industrial. Estos factores se deben analizar a partir de informes técnicos detallados de cada parcela.

3. OPERACIÓN Y GESTIÓN DE AREAS ECO-INDUSTRIALES

Una vez seleccionados los espacios productivos a desarrollar, o bien en los espacios antiguos ya ocupados, se pueden diseñar y rediseñar atendiendo a modos de operación y gestión eficiente medioambientalmente. Para ello se ha de recurrir al enunciado principal de la Ecología Industrial bajo el que los sistemas industriales imitan a los ecosistemas naturales en su operación. Este es el marco teórico que analiza esencialmente los flujos de materia, energía, capital, mano de obra e información dentro de los sistemas de producción y consumo, y estudia sus impactos sobre el medio ambiente. Su finalidad es conseguir una integración sostenible de las actividades humanas en el entorno natural, buscando el cierre de ciclos de materia y energía, y creando redes de intercambio que consigan minimizar la cantidad de residuos generados y la conversión de subproductos en recursos y productos reutilizables. Con ello los sistemas productivos imitan el funcionamiento de los ecosistemas naturales y se pueden estudiar como ecosistemas industriales. Es por lo tanto fundamental promover y desarrollar nuevos modelos de planificación, diseño y gestión de los sistemas industriales, así como transformar los ya existentes en eco-industriales.

Se produce así un cambio del sistema productivo, desde el actual comportamiento lineal, hacia economías circulares de cierre de ciclos, desviando hacia usos productivos materiales que de otro modo serían destinados a vertido. Ello comporta una mayor eficiencia en el consumo de recursos y un menor impacto generado sobre el entorno, prioritariamente a través de la creación de redes de cooperación de empresas

para el intercambio de materia y energía, internacionalmente conocido como Eco-Parques Industriales. Los flujos entrantes y salientes del sistema de análisis se exponen en la Figura 3.

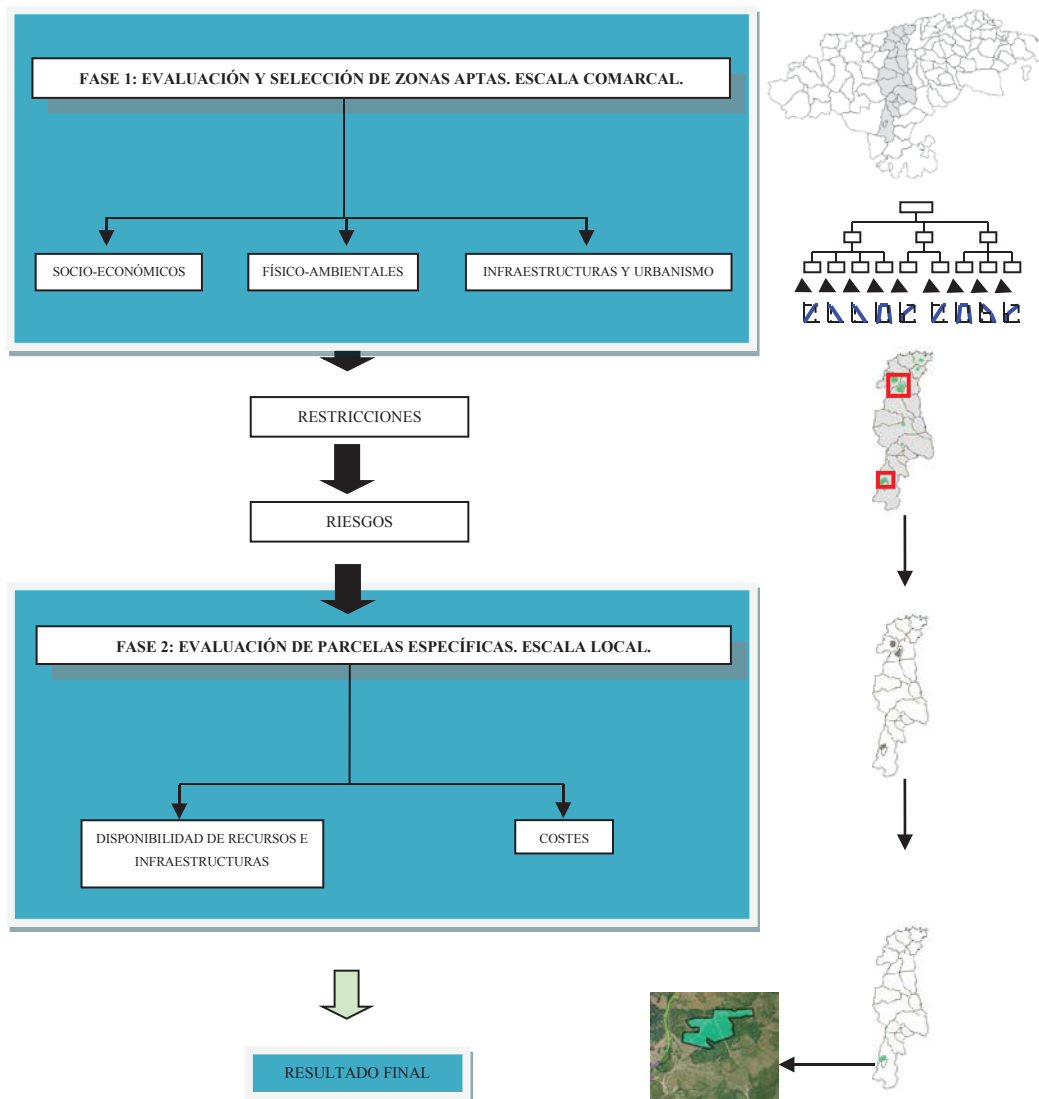


Figura 2: Estructura jerárquica del sistema de variables.

Ahora bien, según los límites geográficos en los que se localizan y relacionan las compañías y empresas, el concepto de EIP puede venir dado por diferentes términos: Eco-Industrial Network, Eco-Industrial Development, Networked Eco-Industrial Parks, Integrated Eco-Industrial Parks, Industrial Ecosystems, Industrial Simbiosis. Es por lo tanto inevitable atender a la escala geográfica para diferenciar entre EIPs de escala local y escala regional [6]. La escala local engloba todas aquellas situaciones en las que la separación física entre compañías es pequeña. Aunque no existe un límite de distancia que establezca el paso de la escala local a la regional, puede considerarse una distancia de unos 3 km entre compañías. Las oportunidades locales se pueden dar a nivel de compañía, entre compañías localizadas en un área industrial o entre compañías que no están confinadas en un área determinada, pero sí próximas. El cambio de escala local a escala regional viene dado por la formación de redes eco-industriales cuya distancia entre las compañías supera los 3 km. El sistema de redes eco-industriales representa el nivel macro de uniones o alianzas estratégicas entre eco-parques, parques industriales clásicos y/o compañías individuales a través de regiones metropolitanas o incluso estructuras de redes globales, logrando impulsar tanto la actuación

medioambiental como la empresarial [7]. Este sistema emerge donde las industrias buscan activamente oportunidades para alianzas y relaciones que animen el desarrollo de sinergias a través de redes así como asociación espacial. Los parques interconectados no son sólo un mercado o sistema de intercambio, pueden ser diseñados para potenciar sinergias entre industrias que permitan el reprocesado de productos y residuos. Estas sinergias pueden permitir la creación de nuevas industrias, que ayudarían a la diversidad o expansión de las actividades o grupos industriales existentes.

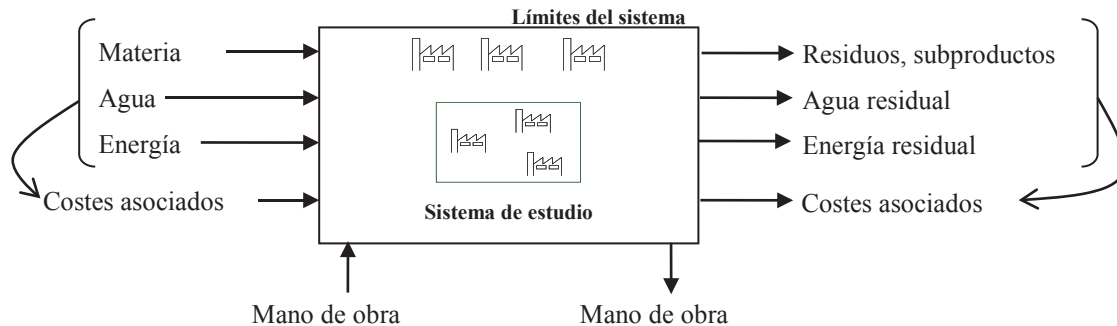


Figura 3: Representación del sistema y flujos objeto del estudio.

4. CASO DE ESTUDIO

A continuación se presenta un caso de estudio realizado en la Comunidad Autónoma de Cantabria (norte de España), en la franja formada por uno de los principales ejes fluviales de la región. Esta región abarca 18 municipios que computan una superficie total de 646,2 Km² y tiene una población de 121.629 habitantes. En la Figura 4 se recoge el área de estudio.

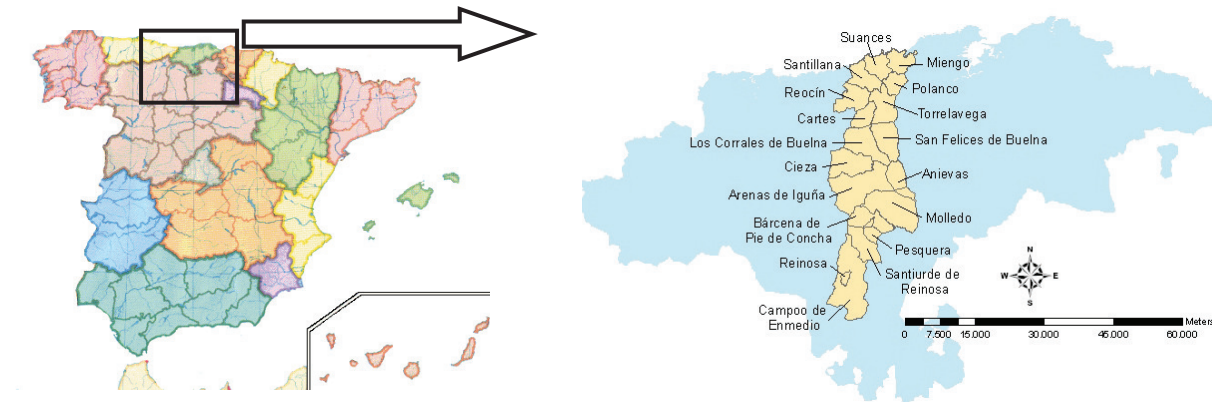


Figura 4: Localización de la zona de estudio en la Comunidad Autónoma de Cantabria.

4.1 Selección de áreas industriales con criterios de sostenibilidad

La diversidad de criterios aplicados en la evaluación requiere un análisis y presentación espacial de las variables que favorezca la toma de decisiones a los agentes locales o regionales implicados. El modelo se implementa en la plataforma de un Sistema de Información Geográfica (GIS) que, más allá de presentar los resultados y almacenar los datos, integra el método de evaluación con el análisis espacial [8]. Para ello

se ha construido un sistema experto basado en reglas difusas con el software *NetWeaver* que se ha acoplado en *ArcGis* mediante el módulo *Ecosystem Management Decision Support (EMDS)*. El resultado final es una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en el planeamiento urbano que a través de un método de evaluación multicriterio permite generar mapas digitales donde se pueden distinguir las diferentes zonas según su grado de idoneidad para la ubicación de potenciales áreas industriales y evaluar las ya existentes.

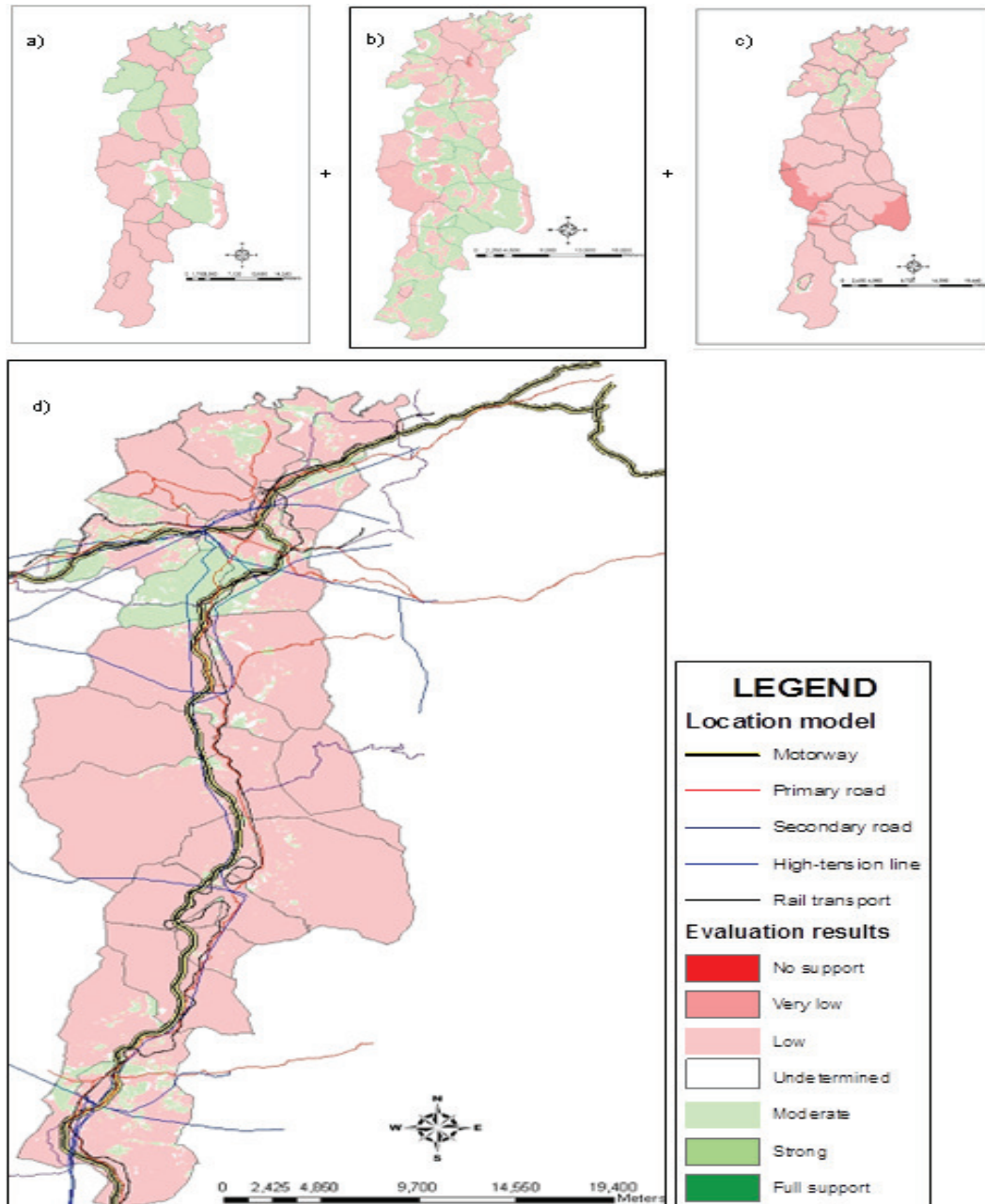


Figura 5: Resultados del modelo de localización: a) Factores socio-económicos; b) Factores físico-ambientales; c) Factores de infraestructuras y urbanismo; d) Evaluación general.

4.2 Formación del eco-sistema industrial

Para el diseño del eco-sistema industrial se han seleccionado los tres municipios más industrializados de los dieciocho estudiados, los que además ofrecieron el mejor soporte para el desarrollo de áreas industriales. Lo cual permite asegurar que estos municipios son idóneos para la concolidación y ampliación de la industria existente. Se trata de los municipios de Torrelavega, Cartes y Polanco, los cuales abarcan un área de unos 48 km² a lo largo del río Besaya. Se da además la circunstancia que en estos municipios el desarrollo de ciudad está íntimamente ligado al desarrollo industrial, pudiendo incluso estar el área industrial embebida en la ciudad.

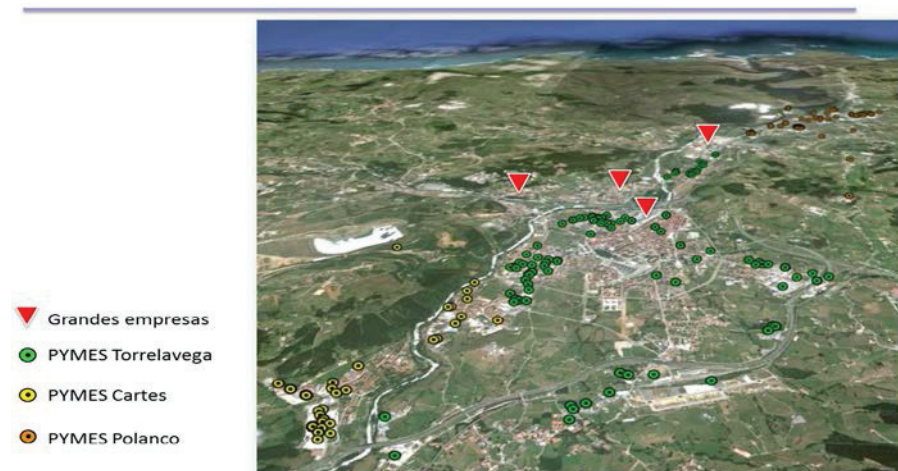


Figura 6: Ortofoto de la zona de análisis para formar el eco-sistema industrial.

El sistema de análisis incluye un total de 4 grandes empresas y de 161 empresas pymes que se agrupan en 11 parques industriales o zonas de alta concentración de empresas. Por tipo de actividad industrial según Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE), las grandes empresas pertenecen a la industria pesada y las empresas pymes se distribuyen según se recoge en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** El grupo dominante está compuesto por un 40,4% de empresas que pertenecen al sector industrial de Comercio; reparación de vehículos de motor, motocicletas y ciclomotores y artículos personales y de uso doméstico. Le siguen los sectores de Metalurgia y fabricación de productos metálicos con un 16,2% y Construcción con un 13,0% de empresas. El 30% restante de empresas se divide por igual en sectores diversos como servicios inmobiliarios, industria del papel, alimentación, industria química, etc.

Se han analizado las sinergias potenciales entre las empresas, entendiendo por sinergia la mejora obtenida a través de una asociación entre dos o más empresas buscando un beneficio mayor que el obtenido individualmente. Para ello se han tipificado en sinergias de sustitución, de mutualidad y de génesis. Las sinergias de sustitución consisten en remplazar el flujo de entrada de una empresa, por un flujo residual o de salida de otra empresa, de tal manera que se produzca una reducción de consumo de recursos y de generación de impactos al medio ambiente. Las sinergias de mutualidad consisten en el uso o la utilización compartida de servicios comunes, instalaciones o infraestructuras por las empresas participantes. Las sinergias de génesis consisten en la creación de una nueva actividad para satisfacer la necesidad de reutilización o adecuación de algún flujo que se pretende sustituir, o para la creación de un servicio o infraestructura común entre empresas. Para cada empresa se ha analizado cualitativamente los flujos de materias primas, auxiliares y de servicios auxiliares de producción; productos y subproductos; residuos; agua bruta y residual; vapor; energía eléctrica; servicios complementarios y combustibles.

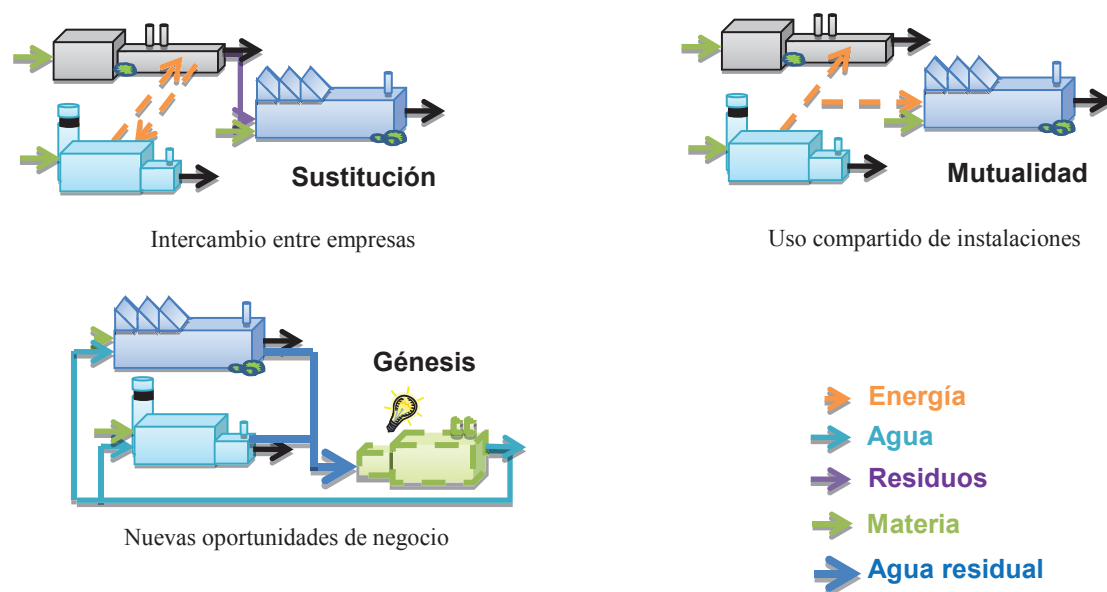


Figura 7: Clasificación de sinergias.

Dada la envergadura del trabajo, más que una presentación pormenorizada de resultados, se resume un balance global de las posibilidades detectadas en el sistema analizado y se arroja luz para ampliar y conectar el sistema urbano al sistema industrial de análisis. Inicialmente se ha detectado un gran número de sinergias potenciales entre las empresas (*one to one*), tanto para los casos de grandes empresas como de pymes. La viabilidad técnica de las mismas estaría sujeta a un posterior análisis cuantitativo.

Los flujos que dan lugar a la mayor parte de las sinergias son la materia y el agua. En cuanto al flujo material, predominan las posibilidades que ofrecen los residuos para sustituir a materias primas y la gestión del almacenamiento y transporte compartidos. Le siguen las sinergias referidas al flujo agua en cuanto a instalaciones compartidas para tratamiento de agua bruta, así como creación de redes de agua residual que puede sustituir a agua bruta. Asimismo, se observa que en las grandes empresas las sinergias de sustitución destacan sobre las de mutualización, mientras que en las SMEs ocurre lo contrario.

No obstante lo anterior, la viabilidad técnica es necesaria pero no suficiente para la formación y desarrollo del eco-sistema industrial. Depende no sólo de las empresas participantes, sino de una implicación e involucración real de todos los agentes implicados, públicos y privados. Mecanismos de activación y coordinación son fundamentales para avanzar hacia soluciones e inversiones concretas.

5. CONCLUSIONES

La planificación de eco-sistemas industriales ofrece un campo un campo muy fértil para la regeneración urbana, bien por los beneficios inducidos o bien porque la ciudad puede formar parte activa en la formación del sistema urbano-industrial. Una visión sistémica y una perspectiva de ciclo de vida son esenciales en el proceso de transformación. La visión sistémica hace posible que el todo es más que la suma de las partes y la perspectiva del ciclo de vida garantiza la formación de sistemas viables a largo plazo. Las oportunidades para la aplicación de la ecología industrial crecen a nivel de grandes áreas, ya que la diversidad de actividades es más probable y por lo tanto, también la posibilidad de establecer un mayor número de sinergias. Los beneficios se pueden sintetizar en: (1) incremento de las oportunidades de creación de redes entre empresas en el EIP, así como entre los EIPs y su comunidad, (2) mayores economías de escala como resultado de una amplia red de entes, (3) incremento de la conectividad entre

diferentes entes, (4) incremento de la capacidad de gestión de los recursos y habilidades base que pueden darse en este entorno. Sin embargo, también es necesario vencer ciertas barreras y limitaciones que se pueden sintetizar en: (1) estructura compleja y diversidad de agentes implicados en los EIPs, (2) potencial fragilidad de las redes en la creación de sinergias, (3) limitaciones tecnológicas en la formación de redes de intercambio de materia y energía, (4) incertidumbre del mercado ante fluctuaciones de precios y clima político, (4) responsabilidad y concienciación de los entes implicados. La superación de estas limitaciones exige esfuerzos conjuntos entre todos los entes participantes en el desarrollo y funcionamiento de un ecosistema industrial: gobiernos, empresas, agentes sociales, planificadores, ingenieros e investigadores. Además, aunque es posible aprender lecciones del desarrollo de otros ecosistemas industriales, cada uno presenta particularidades relacionadas con aspectos sociales, económicos, culturales y ecológicos difíciles de extrapolar que dificultan la planificación y diseño de uno nuevo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] World Business Council for Sustainable Development. Vision 2050: The new agenda for business. (2010). <http://www.wbcsd.org/web/vision2050.htm>
- [2] Romero, E., Ruiz, M.C. Framework for applying a complex adaptive system approach to model the operation of eco-industrial parks. *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 17, Issue 5, 731-741(2013).
- [3] Romero, E., Ruiz, M.C. Proposal of an agent-based analytical model to convert industrial areas in industrial eco-systems. *Science of the Total Environment*. Vol. 468-469, 394-405 (2014).
- [4] Ruiz, M.C., Romero E., Fernández, J.R., 2010. Urban and industrial metabolism: Towards sustainable planning. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. Vol. 6, 186-189 (2012).
- [5] Fernández Diego, M.C. Ruiz Puente. Descriptive model and evaluation system to locate sustainable industrial areas. *Journal of Cleaner Production*. 17, 87-100 (2009).
- [6] Tudor, T., Adam, E. & Bates, M. Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): a literature review. *Ecological Economics*. 61, 199-207 (2007).
- [7] Lowe, E.A., Evans, L.K. Industrial ecology and industrial ecosystems. *Journal of Cleaner Production*. 3, 47-53 (1995).
- [8] Ruiz, M.C., Romero, E., Perez, M.A., Fernandez, I. Development and application of a multi-criteria spatial decision support system for planning sustainable industrial areas in Northern Spain. *Automation in Construction*. Vol. 22, 320-333 (2012).